

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **044667**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2023.09.21**

**(51)** Int. Cl. *E21B 43/20* (2006.01)

**(21)** Номер заявки  
**202000361**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2020.12.18**

---

**(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ВОДОГАЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ И СПОСОБ ВОДОГАЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ**

---

**(43)** **2022.03.31**

**(72)** Изобретатель:

**(96)** **2020000135 (RU) 2020.12.18**

**Дроздов Александр Николаевич,  
Дроздов Николай Александрович,  
Горелкина Евгения Ильинична,  
Горбылева Яна Алексеевна,  
Нарожный Игорь Михайлович (RU),  
Есниязов Данияр Габдилкаликович,  
Косжанов Айымбет Айтмухамбетович  
(KZ)**

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "РОССИЙСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ  
НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА  
ЛУМУМБЫ" (РУДН)  
(RU); ТОВАРИЩЕСТВО  
С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
"РЕЗЕРВУАР СЮРВЭЙЛАНС  
СЕРВИСЕЗ" (KZ)**

**(74)** Представитель:  
**Костин А.А. (RU)**

**(56)** RU-A3-2017100937  
RU-C1-2714399  
RU-C1-2293178  
US-B1-6325147  
US-A-4427067

---

**(57)** Изобретение относится к нефтяной промышленности и может быть использовано при водогазовом воздействии для увеличения нефтеотдачи пластов. Технический результат - повышение надежности работы и производительности путем обеспечения дополнительного эжектирования газа. Способ водогазового воздействия на пласт включает проведение фильтрационных исследований, определение области рациональных газосодержаний и последующую закачку водогазовой смеси в пласт. Часть воды направляют для охлаждения рабочей жидкости в гидроприводной насосно-эжекторной системе с одновременной дополнительной откачкой газа. Установка для водогазового воздействия на пласт содержит четыре насоса (1, 3, 36, 51), три эжектора (2, 36, 44), линию нагнетания воды (5), соединенную с линией подачи воды (43) и выходной линией (52), линию откачки газа (6), где установлена гидроприводная насосно-эжекторная система (33) с сепаратором (37), в который направлена выходная линия (48), перепускную линию (19), линию перепуска воды (49) и линию подачи водогазовой смеси (7) в нагнетательные скважины.

---

**044667 B1**

**044667 B1**

Изобретения относятся к нефтяной промышленности и могут быть использованы при водогазовом воздействии для увеличения нефтеотдачи пластов.

Известны установка для водогазового воздействия на пласт, содержащая насос и эжектор, и способ водогазового воздействия на пласт с использованием установки, включающий закачку созданной эжектором водогазовой смеси в нагнетательные скважины с добавкой в водогазовую смесь пенообразующих поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1]. Известные установка и способ имеют низкие функциональные возможности и ограниченную область применения из-за невозможности создания эжектором высоких давлений нагнетания водогазовой смеси.

Известны также устройство для водогазового воздействия на пласт, содержащее силовой насос, эжектор и дожимной насос, и способ водогазового воздействия на пласт с использованием установки, включающий нагнетание воды силовым насосом в сопло эжектора, откачку газа эжектором, создание, диспергирование и повышение давления водогазовой смеси эжектором с последующей закачкой дожимным насосом водогазовой смеси в нагнетательные скважины, а также поддержание при этом содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса не выше величины некоторого предельного газосодержания, регулирование содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса изменением подачи газа эжектором, и регулирование предельного газосодержания путём изменения давления на приёме дожимного насоса за счёт изменения давления воды, нагнетаемой в эжектор и/или путём изменения пенообразующих свойств водогазовой смеси [2].

Известные устройство и способ имеют ограниченную область применения из-за невозможности работы при высоких расходах газа, а также низкую эффективность, и не позволяют достичь наивысшего увеличения нефтеотдачи, поскольку не обеспечивают закачку водогазовой смеси в области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях.

Также известны насосно-эжекторная система для водогазового воздействия на пласт, содержащая силовой насос, эжектор, дожимной насос, выполненный в наземном, либо в погружном скважинном исполнении, а также линию подачи воды в силовой насос, линию нагнетания воды, линию откачки газа, и линию закачки водогазовой смеси в пласт, причем приемная камера эжектора сообщена с линией откачки газа, линия нагнетания воды направлена в сопло эжектора, выходная линия эжектора соединена с приемом дожимного насоса, а на линии нагнетания воды установлена регулируемая задвижка, при этом в системе также размещён дозировочный насос с линией подачи пенообразующих ПАВ из емкости и регулируемой задвижкой на выходе, причем силовой насос, дожимной насос и дозировочный насос снабжены частотно-регулируемыми приводами, а на линии откачки газа установлены регулируемая задвижка и/или компрессор, и способ водогазового воздействия на пласт с использованием установки, включающий проведение перед закачкой водогазовой смеси фильтрационных исследований вытеснения нефти из моделей пласта водогазовыми смесями при различных газосодержаниях, определение области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях, в которой обеспечиваются максимальные значения коэффициента вытеснения нефти, и последующую закачку смеси в пласт насосно-эжекторной системой при обеспечении газосодержания смеси  $\beta_{пл}$  в пластовых условиях, исходя из соотношения

$$\beta_{мин} \leq \beta_{пл} \leq \beta_{макс} ,$$

где  $\beta_{мин}$  - минимальное газосодержание, соответствующее левой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

$\beta_{макс}$  - максимальное газосодержание, соответствующее правой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

при этом процесс закачки смеси включает нагнетание воды силовым насосом в сопло эжектора, откачку газа эжектором, создание, диспергирование и повышение давления водогазовой смеси эжектором с последующим нагнетанием дожимным насосом водогазовой смеси в пласт, поддержание при этом содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса не выше величины предельного газосодержания, регулирование содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса изменением подачи газа эжектором, регулирование предельного газосодержания путём изменения давления на приёме дожимного насоса за счёт изменения давления воды, нагнетаемой в эжектор и/или путем изменения пенообразующих свойств водогазовой смеси, а также регулирование расходов газа, воды, давления и содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса посредством изменения размеров проточной части эжектора и/или изменением частоты вращения вала силового и/или дожимного насоса и/или изменением давления газа в приемной камере эжектора и линии откачки газа регулируемой задвижкой или компрессором и/или путем использования гравитационного поля Земли для сжатия водогазовой смеси от выходной линии эжектора до приема дожимного насоса за счет спуска дожимного насоса, изготовленного в погружном исполнении, в нагнетательную скважину [3].

Известные устройство и способ характеризуются трудным запуском в эксплуатацию, поскольку при подаче воды от силового насоса в эжектор сразу же резко возрастает давление на приеме дожимного насоса перед его включением, что может привести к выходу из строя торцового уплотнения вала на приеме дожимного насоса и отказу оборудования. Одновременное же с подачей воды в эжектор включение до-

жимного насоса может привести к возникновению разрежения на приеме дожимного насоса, что также негативно сказывается на надежности торцового уплотнения. Это ограничивает область применения известных устройства и способа для водогазового воздействия на пласт.

Наиболее близкой по технической сущности к первому объекту изобретения является насосно-эжекторная система для водогазового воздействия на пласт, содержащая первый силовой насос, первый эжектор, дожимной насос, выполненный в наземном, либо в погружном скважинном исполнении, а также линию подачи воды в первый силовой насос, линию нагнетания воды, линию откачки газа и линию закачки водогазовой смеси в пласт, причем приемная камера первого эжектора сообщена с линией откачки газа, линия нагнетания воды направлена в сопло первого эжектора, выходная линия эжектора соединена с приемом дожимного насоса, а на линии нагнетания воды установлена регулируемая задвижка, при этом в системе также размещён дозировочный насос с линией подачи пенообразующих ПАВ из емкости и регулируемой задвижкой на выходе, причем первый силовой насос, дожимной насос и дозировочный насос снабжены частотно-регулируемыми приводами, выходная линия первого эжектора сообщена с линией подачи воды в силовой насос посредством перепускной линии с регулируемой задвижкой, при этом на линии откачки газа перед приемной камерой первого эжектора также установлена регулируемая задвижка, а на линии откачки газа установлены регулируемая задвижка и/или компрессор и/или гидроприводная насосно-эжекторная система, содержащая сепаратор, второй силовой насос и второй эжектор, при этом входная линия второго силового насоса подключена к сепаратору, выходная линия второго силового насоса подсоединена к соплу второго эжектора, приемная камера второго эжектора сообщена с линией подачи газа, выходная линия второго эжектора соединена с сепаратором, а выходная линия сепаратора сообщена с приемной камерой первого эжектора [4].

Наиболее близким по технической сущности ко второму объекту изобретения является способ водогазового воздействия на пласт, включающий проведение перед закачкой водогазовой смеси фильтрационных исследований вытеснения нефти из моделей пласта водогазовыми смесями при различных газосодержаниях, определение области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях, в которой обеспечиваются максимальные значения коэффициента вытеснения нефти, и последующую закачку смеси в пласт насосно-эжекторной системой при обеспечении газосодержания смеси  $\beta_{пл}$  в пластовых условиях, исходя из соотношения

$$\beta_{мин} \leq \beta_{пл} \leq \beta_{макс} ,$$

где  $\beta_{мин}$  - минимальное газосодержание, соответствующее левой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

$\beta_{макс}$  - максимальное газосодержание, соответствующее правой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

при этом процесс закачки смеси включает нагнетание воды первым силовым насосом в сопло первого эжектора, откачку газа первым эжектором, создание, диспергирование и повышение давления водогазовой смеси первым эжектором с последующим нагнетанием дожимным насосом водогазовой смеси в пласт, поддержание при этом содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса не выше величины предельного газосодержания, регулирование содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса изменением подачи газа первым эжектором, регулирование предельного газосодержания путём изменения давления на приёме дожимного насоса за счёт изменения давления воды, нагнетаемой в первый эжектор и/или путем изменения пенообразующих свойств водогазовой смеси, а также регулирование расходов газа, воды, давления и содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса посредством изменения размеров проточной части первого эжектора и/или изменением частоты вращения вала первого силового и/или дожимного насоса и/или изменением давления газа в приемной камере первого эжектора и линии откачки газа регулируемой задвижкой или компрессором и/или гидроприводной насосно-эжекторной системой со вторым силовым насосом, вторым эжектором и сепаратором, и/или путем использования гравитационного поля Земли для сжатия водогазовой смеси от выходной линии первого эжектора до приема дожимного насоса за счет спуска дожимного насоса, изготовленного в погружном исполнении, в нагнетательную скважину вплоть до её забоя, причем при запуске насосно-эжекторной системы в работу сначала перекрывают регулируемой задвижкой линию откачки газа, сообщают выходную линию первого эжектора с приемной линией первого силового насоса, затем подключают сопло первого эжектора к первому силовому насосу и включают дожимной насос, после чего разобщают выходную линию первого эжектора с приемной линией первого силового насоса и постепенно открывают регулируемую задвижку на линии откачки газа [4].

Указанные известные устройство и способ не обеспечивают эффективное охлаждение рабочей жидкости в гидроприводной насосно-эжекторной системе, что снижает надежность и ограничивает время её работы, требует периодических остановок и уменьшает производительность по газу.

Технической проблемой, на решение которой направлены предлагаемые изобретения, является повышение надежности и производительности установки по газу путем обеспечения дополнительного эжектирования газа совместно с эффективным охлаждением рабочей жидкости в гидроприводной насосно-эжекторной системе.

Указанная проблема в первом изобретении решается тем, что в установке для водогазового воздействия на пласт, содержащей первый силовой насос, первый эжектор, дожимной насос, выполненный в наземном, либо в погружном скважинном исполнении, а также линию подачи воды в первый силовой насос, линию нагнетания воды, линию откачки газа и линию закачки водогазовой смеси в пласт, причем приемная камера первого эжектора сообщена с линией откачки газа, линия нагнетания воды направлена в сопло первого эжектора, выходная линия эжектора соединена с приемом дожимного насоса, а на линии нагнетания воды установлена регулируемая задвижка, при этом в системе также размещён дозирующий насос с линией подачи пенообразующих ПАВ из емкости и регулируемой задвижкой на выходе, причем первый силовой насос, дожимной насос и дозирующий насос снабжены частотно-регулируемыми приводами, выходная линия первого эжектора сообщена с линией подачи воды в силовой насос посредством перепускной линии с регулируемой задвижкой, при этом на линии откачки газа перед приемной камерой первого эжектора также установлена регулируемая задвижка, а на линии откачки газа установлены регулируемая задвижка и/или компрессор и/или гидроприводная насосно-эжекторная система, содержащая сепаратор, второй силовой насос и второй эжектор, при этом входная линия второго силового насоса подключена к сепаратору, выходная линия второго силового насоса подсоединена к соплу второго эжектора, приемная камера второго эжектора сообщена с линией подачи газа, выходная линия второго эжектора соединена с сепаратором, а выходная линия сепаратора сообщена с приемной камерой первого эжектора, согласно изобретению, к линии нагнетания воды подсоединена линия подачи воды в сопло третьего эжектора, причем приемная камера третьего эжектора сообщена с линией откачки газа, выходная линия третьего эжектора направлена в сепаратор, при этом к входной линии второго силового насоса подключена линия перепуска воды с регулируемой задвижкой, причем линия перепуска воды сообщена с линией подачи воды в первый силовой насос и с входной линией третьего силового насоса, выходная линия которого соединена с линией нагнетания воды в сопло первого эжектора, при этом на входной и выходных линиях третьего силового насоса установлены регулируемые задвижки.

Указанная проблема во втором изобретении решается тем, что в способе, включающем проведение перед закачкой водогазовой смеси фильтрационных исследований вытеснения нефти из моделей пласта водогазовыми смесями при различных газосодержаниях, определение области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях, в которой обеспечиваются максимальные значения коэффициента вытеснения нефти, и последующую закачку смеси в пласт насосно-эжекторной системой при обеспечении газосодержания смеси  $\beta_{пл}$  в пластовых условиях, исходя из соотношения

$$\beta_{мин} \leq \beta_{пл} \leq \beta_{макс} ,$$

где  $\beta_{мин}$  - минимальное газосодержание, соответствующее левой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

$\beta_{макс}$  - максимальное газосодержание, соответствующее правой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

при этом процесс закачки смеси включает нагнетание воды первым силовым насосом в сопло первого эжектора, откачку газа первым эжектором, создание, диспергирование и повышение давления водогазовой смеси первым эжектором с последующим нагнетанием дожимным насосом водогазовой смеси в пласт, поддержание при этом содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса не выше величины предельного газосодержания, регулирование содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса изменением подачи газа первым эжектором, регулирование предельного газосодержания путём изменения давления на приёме дожимного насоса за счёт изменения давления воды, нагнетаемой в первый эжектор и/или путем изменения пенообразующих свойств водогазовой смеси, а также регулирование расходов газа, воды, давления и содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса посредством изменения размеров проточной части первого эжектора и/или изменением частоты вращения вала первого силового и/или дожимного насоса и/или изменением давления газа в приемной камере первого эжектора и линии откачки газа регулируемой задвижкой или компрессором и/или гидроприводной насосно-эжекторной системой со вторым силовым насосом, вторым эжектором и сепаратором, и/или путем использования гравитационного поля Земли для сжатия водогазовой смеси от выходной линии первого эжектора до приема дожимного насоса за счет спуска дожимного насоса, изготовленного в погружном исполнении, в нагнетательную скважину вплоть до её забоя, причем при запуске насосно-эжекторной системы в работу сначала перекрывают регулируемой задвижкой линию откачки газа, сообщают выходную линию первого эжектора с приемной линией первого силового насоса, затем подключают сопло первого эжектора к первому силовому насосу и включают дожимной насос, после чего разобщают выходную линию первого эжектора с приемной линией первого силового насоса и постепенно открывают регулируемую задвижку на линии откачки газа, согласно изобретению, часть воды, нагнетаемой первым силовым насосом, направляют для охлаждения воды в гидроприводной насосно-эжекторной системе с одновременной дополнительной откачкой газа третьим эжектором, направлением водогазовой смеси после третьего эжектора в сепаратор, и последующей подачей части воды из сепаратора гидроприводной насосно-эжекторной системы на прием первого силового насоса или нагнетанием

этой части воды в сопло первого эжектора.

Техническим результатом является повышение производительности, увеличение надежности и расширение области применения насосно-эжекторных систем при реализации водогазового воздействия на пласт.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 представлена схема установки для водогазового воздействия на пласт, на фиг. 2 - один из вариантов выполнения установки, на фиг. 3 - полученная в лабораторных экспериментах зависимость коэффициента вытеснения нефти от газосодержания водогазовой смеси в пластовых условиях с указанием границ рациональной области.

Установка для водогазового воздействия на пласт содержит первый силовой насос 1, первый эжектор 2, дожимной насос 3 (на фиг. 1 он изображен в погружном исполнении), а также линию 4 подачи воды в первый силовой насос 1, линию нагнетания воды 5 в сопло первого эжектора 1, линию откачки газа 6 первым эжектором 1, и линию подачи водогазовой смеси 7 в нагнетательные скважины. Приемная камера первого эжектора 2 сообщена с линией откачки газа 6, а линия нагнетания воды 5 направлена в сопло первого эжектора 2. Выходная линия 8 первого эжектора 2 соединена с приемом дожимного насоса 3. На линии 5 установлена регулируемая задвижка 9.

В установке также имеется дозировочный насос 10 с линией подачи ПАВ 11 из емкости 12 и регулируемой задвижкой 13 на выходе.

Первый силовой насос 1 и дожимной насос 3 снабжены частотно-регулируемыми приводами 14 и 15. Дозировочный насос 10 также снабжен частотно-регулируемым приводом 16.

К линии откачки газа 6 могут быть подсоединены регулируемая задвижка 17 и/или компрессор 18.

В качестве дожимного насоса 3 могут быть использованы многоступенчатый лопастной насос или винтовой объемный насос.

Установка содержит также выходную линию 8 первого эжектора 2 и линию 4 подачи воды в силовой насос 1 перепускную линию 19 с регулируемой задвижкой 20. К линии нагнетания воды 5 присоединена линия 22 с регулируемой задвижкой 23 для закачки воды в скважины месторождения, не относящиеся к участку водогазового воздействия.

Дожимной насос 3 (см. фиг. 1) может быть изготовлен в погружном исполнении и спущен на насосно-компрессорных трубах (НКТ) 24 на глубину Н в нагнетательную скважину 25, пробуренную на пласт 26.

Дожимной погружной насос 3 "перевернутого" типа приводится в действие расположенным выше него погружным электродвигателем 27, который размещен в герметичном кожухе 28, присоединенном к нижнему концу НКТ 19. Прием 29 дожимного насоса 3 также расположен в кожухе 28. Выход дожимного насоса 3 снабжен хвостовиком 31. Затрубное пространство между хвостовиком 31 и эксплуатационной колонной нагнетательной скважины 25 перекрыто пакером 32.

Для повышения давления газа, поступающего в приемную камеру первого эжектора 2, используется гидроприводная насосно-эжекторная система 33. Она содержит второй силовой насос 34 с частотно-регулируемым приводом 35, эжектор 36 и сепаратор 37 для разделения воды и газа. К нижней части сепаратора 37 присоединена входная линия 38 насоса 34. К приемной камере эжектора 36 подключена всасывающая газовая линия 39. Выходная линия 40 второго силового насоса 34 направлена в сопло второго эжектора 36. Выходная линия 41 второго эжектора 36 присоединена к средней части сепаратора 37, к верхней части которого подключена нагнетательная газовая линия 42, соединенная с линией откачки газа 6.

К линии нагнетания воды 5 подсоединена линия подачи воды 43 в сопло третьего эжектора 44. Приемная камера третьего эжектора 44 сообщена с линией подачи газа 45 через всасывающую газовую линию 46 и газовую линию 47. Всасывающая газовая линия 39 также подключена к газовой линии 47, которая соединена с линией подачи газа 45. Выходная линия 48 третьего эжектора 44 направлена в сепаратор 37, при этом к входной линии 38 второго силового насоса 34 подключена линия перепуска воды 49 с регулируемой задвижкой 50, причем линия перепуска воды 49 сообщена с линией подачи воды 4 в первый силовой насос 1 через перепускную линию 19 и с входной линией 50 третьего силового насоса 51, выходная линия 52 которого соединена с линией нагнетания воды 5 в сопло первого эжектора 2, при этом на входной и выходных линиях 50 и 52 третьего силового насоса 51 установлены регулируемые задвижки 53 и 54.

Установка для водогазового воздействия на пласт работает следующим образом.

До запуска системы в эксплуатацию работает лишь первый силовой насос 1 кустовой насосной станции, который нагнетает воду с целью поддержания пластового давления в водонагнетательные скважины, не относящиеся к участку водогазового воздействия, по линии 22. Регулируемые задвижки 16, 54, 55 при этом закрыты, а регулируемая задвижка 23 - открыта, линия откачки газа 6 перекрыта регулируемой задвижкой 21. Для запуска насосно-эжекторной системы в работу сначала открывается регулируемая задвижка 20 и сообщается выходная линия 8 первого эжектора 2 с приемной линией 4 первого силового насоса 1. Затем открывается регулируемая задвижка 9 и подключается сопло первого эжектора 2 к первому силовому насосу 1. Далее с помощью частотно-регулируемого привода 15 включается дожимной насос 3. После этого закрывается регулируемая задвижка 20 и разобщается выход первого эжек-

тора 2 с приемной линией 4 первого силового насоса 1. При этом первый эжектор 2 работает без откачки газа и в дожимной насос 3 поступает однородная жидкость - вода. Затем постепенно открывается регулируемая задвижка 21 на линии откачки газа 6, и первый эжектор 2 начинает откачивать газ, а дожимной насос 3 - нагнетать водогазовую смесь в пласт, т.е. система запускается в работу.

После запуска в эксплуатацию насосно-эжекторная система работает следующим образом. Первый силовой насос 1 нагнетает воду из линии подачи воды 4 по линии нагнетания воды 5, помимо линии 22 в водонагнетательные скважины, также в сопло первого эжектора 2. Эжектор 2 откачивает газ из газовой линии 6, создает, диспергирует водогазовую смесь, и повышает её давление, направляя затем по линии 8 на прием дожимного насоса 3. Дожимной насос 3 нагнетает водогазовую смесь по линии 7 в нагнетательные скважины и далее - в пласт.

При этом гидроприводная насосно-эжекторная система 33 работает следующим образом. Включается с помощью частотно-регулируемого привода 35 второй силовой насос 34 и нагнетает воду в сопло второго эжектора 36, который откачивает газ из линии откачки газа 45 по линиям 39 и 47 и повышает давление смеси. Она затем поступает по линии 41 в сепаратор 37 и разделяется в нем на газ и воду. Газ с повышенным давлением направляется по линии нагнетания 42 в линию 6 и далее - на прием первого эжектора 2. Вода из сепаратора 37 идет по линии 38 на прием второго силового насоса 34.

Первый силовой насос 1 при этом нагнетает для охлаждения рабочей жидкости гидроприводной насосно-эжекторной системы 33 часть воды из линии нагнетания воды 5 по линии подачи воды 43 в сопло третьего эжектора 44. Третий эжектор 44 откачивает газ из линии откачки газа 45 по линиям 46 и 47 и направляет смесь с повышенным давлением по выходной линии 48 в сепаратор 37. Там газ отделяется от жидкости и поступает затем по линиям 42 и 6 на прием первого эжектора. При этом вода, подаваемая на охлаждение через третий эжектор 44, смешивается с водой, используемой в качестве рабочей жидкости, и снижает её температуру. Затем часть воды отбирается из входной линии 38 второго силового насоса 34 и по линии перепуска воды 49 с регулируемой задвижкой 55 идет в линию 14 и далее - по линии 4 на прием первого силового насоса. Поскольку линия перепуска воды 49 сообщена не только с линией подачи воды 4 в первый силовой насос 1, но и с входной линией 50 третьего силового насоса 51, часть воды может нагнетаться им по выходной линии 52 в линию 5 и в сопло первого эжектора 2. Регулирование процесса производится задвижками 53, 54, 55 и 56.

В случае выполнения дожимного насоса 3 в погружном варианте водогазовая смесь направляется по линии 8 в колонну НКТ 24 и далее по кольцевому пространству между кожухом 28 и погружным электродвигателем 27 - на прием 29 погружного дожимного насоса 3. Электроэнергия к погружному электродвигателю 27, вращающему вал дожимного насоса 3, передается по кабелю 30 с поверхности от станции управления с частотно-регулируемым приводом 15. Дожимной насос 3 нагнетает водогазовую смесь по хвостовику 31 в пласт 26. Пакер 32 необходим в данном случае для того, чтобы высокое давление нагнетания не передавалось на эксплуатационную колонну скважины 25.

Способ водогазового воздействия на пласт осуществляют следующим образом.

Перед закачкой водогазовой смеси проводят фильтрационные исследования вытеснения нефти из моделей пласта водогазовыми смесями при различных газосодержаниях, определяют область рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях, в которой обеспечиваются максимальные значения коэффициента вытеснения нефти, и затем закачивают смесь в пласт при обеспечении газосодержания смеси  $\beta_{пл}$  в пластовых условиях, исходя из соотношения

$$\beta_{мин} \leq \beta_{пл} \leq \beta_{макс} ,$$

где  $\beta_{мин}$  - минимальное газосодержание, соответствующее левой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

$\beta_{макс}$  - максимальное газосодержание, соответствующее правой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях.

Фильтрационные исследования вытеснения нефти из моделей пласта водогазовыми смесями при различных газосодержаниях проводят на специальных установках трехфазной фильтрации. Такие установки выпускаются как российскими, так и западными изготовителями. По данным этих исследований строят зависимости коэффициента вытеснения нефти  $K_{выт}$  от газосодержания водогазовой смеси в пластовых условиях.

Границы области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях определяют по графику зависимости коэффициента вытеснения нефти  $K_{выт}$  от газосодержания водогазовой смеси в пластовых условиях  $\beta_{пл}$ , исходя из условия, что допустимое снижение коэффициента вытеснения нефти  $K_{выт}$  на границах области по сравнению с его максимальным значением составляет не более 10 % (см. фиг. 3). Далее производят запуск насосно-эжекторной системы в эксплуатацию.

Вначале первым силовым насосом 1 нагнетают воду лишь в водонагнетательные скважины, не относящиеся к участку водогазового воздействия, по линии 22. При запуске установки в работу сначала перекрывают регулируемой задвижкой 21 линию откачки газа 6 и сообщают выходную линию 8 первого эжектора 2 с приемной линией 4 первого силового насоса 1 (см. фиг. 1). Затем подключают сопло перво-

го эжектора 2 к первому силовому насосу 1 путем открытия регулируемой задвижки 9 и включают дожимной насос 3. После чего, убедившись в нормальной работе дожимного насоса 3, разобщают выход первого эжектора 2 с приемной линией 4 первого силового насоса 1, закрывая регулируемую задвижку 20. При этом первый эжектор 2 работает без откачки газа и в дожимной насос 3 поступает однородная жидкость - вода, которую он по линии 7 качает в нагнетательные скважины и затем - в пласт. Затем постепенно открывают регулируемую задвижку 21 на линии откачки газа 6, и первым эжектором 2 начинают откачивать газ, а дожимным насосом 3 - водогазовую смесь в пласт.

Закачку смеси после запуска в работу системы продолжают следующим образом. Нагнетают воду первым силовым насосом 1 из линии подачи воды 4 по линии нагнетания воды 5, помимо линии 22 в водонагнетательные скважины, также в сопло первого эжектора 2, которым откачивают газ из газовой линии 6. Эжектором 2 создают, диспергируют и повышают давление водогазовой смеси. Её направляют по линии 8 на прием дожимного насоса 3 (см. фиг. 2). Далее нагнетают дожимным насосом 3 водогазовую смесь по линии закачки водогазовой смеси 7 в пласт. Содержание свободного газа в смеси на приеме дожимного насоса 3 регулируют изменением подачи газа первым эжектором 2. Регулирование предельного газосодержания осуществляют путём изменения давления на приеме дожимного насоса 3 за счёт изменения давления воды, нагнетаемой в первый эжектор 2 и/или путём изменения пенообразующих свойств водогазовой смеси. В последнем случае из ёмкости 12 откачивают по линии 11 пенообразующие ПАВ дозировочным насосом 10 и подают им ПАВ в линию нагнетания воды 5. Изменение пенообразующих свойств достигают изменением расхода ПАВ при регулировании подачи дозировочного насоса частотно-регулируемым приводом 10 и регулируемой задвижкой 13. Регулирование расходов газа, воды, давления и содержания свободного газа в смеси на приеме дожимного насоса 3 осуществляют путем изменения размеров проточной части первого эжектора 2 и/или изменения давления газа в приемной камере первого эжектора 2.

Изменение размеров проточной части первого эжектора 2 производят путем установки в первый эжектор 2 сопел и камер смешений различных диаметров. Увеличивая диаметр установленного сопла, можно повысить расход воды, а уменьшая диаметр сопла, можно этот расход снизить. За счет вставки в первый эжектор 2 камеры смешения большего диаметра можно увеличить расход газа, и наоборот. Повышение давления газа в приемной камере первого эжектора 2 приводит к росту расхода газа, а снижение этого давления - к уменьшению расхода газа. Изменение расходов воды и газа приводит к соответствующему изменению давления и содержания свободного газа в смеси на приеме дожимного насоса 3.

Регулирование расходов газа, воды, давления и содержания свободного газа в смеси на приеме дожимного насоса 3 осуществляют также путем изменения частоты вращения вала первого силового 1 и/или дожимного насоса 3 с применением частотно-регулируемых приводов 14 и 15.

Изменение давления газа в приемной камере эжектора 2 осуществляют либо регулируемой задвижкой 17 (в сторону снижения давления за ней по сравнению с давлением перед ней), либо компрессором 18. В последнем случае возможно увеличение давления газа в приемной камере эжектора 2 за счет сжатия газа компрессором 18. В качестве компрессора используется также гидроприводная насосно-эжекторная система 33. При её работе заполняют водой примерно половину объёма сепаратора 37 и затем с помощью частотно-регулируемого привода 35 включают второй силовой насос 34, приводящий в действие второй эжектор 36. Им откачивают газ из линии 39 и повышают давление смеси, которая затем поступает по линии 41 в сепаратор 37. В нем смесь разделяют на газ и воду. Газ с повышенным давлением направляют по линии нагнетания 42 в линию 6 и далее - на прием первого эжектора 2. Воду из сепаратора 37 направляют по линии 38 на прием второго силового насоса 34.

Часть воды, нагнетаемой первым силовым насосом 1, направляют для охлаждения воды в гидроприводной насосно-эжекторной системе 33 с одновременной дополнительной откачкой газа третьим эжектором 44, направлением водогазовой смеси после третьего эжектора 44 в сепаратор 37, и последующей подачей части воды из сепаратора 37 гидроприводной насосно-эжекторной системы 33 на прием первого силового насоса 1 или нагнетанием этой части воды в сопло первого эжектора 2 третьим силовым насосом 51.

Повышение предельного газосодержания, увеличение давления и снижение содержания свободного газа в смеси на приеме дожимного насоса 3 осуществляют также (см. фиг. 1) путем использования гравитационного поля Земли для сжатия водогазовой смеси от выхода эжектора 2 до приема дожимного насоса 3. Это осуществляют за счет спуска дожимного насоса 3, изготовленного в погружном исполнении, в нагнетательную скважину 25, вплоть до её забоя.

Давление на приеме  $P_{np}$  дожимного насоса 3 при этом составляет

$$P_{np} = P_y + \rho_{см} g H - \Delta P,$$

где  $P_y$  - давление на устье нагнетательной скважины 25,

$H$  - глубина спуска дожимного насоса 3,

$\rho_{см}$  - средняя плотность водогазовой смеси в интервале от устья до глубины спуска дожимного насоса 3,

$g$  - ускорение свободного падения,

$\Delta P$  - потери давления на трение.

Учитывая, что потери давления на трение  $\Delta P$  несоизмеримо меньше, чем давление, создаваемое весом столба водогазовой смеси в гравитационном поле Земли ( $\rho_{см}gH$ ), давление на приеме  $P_{пр}$  дожимного насоса 3 существенно больше, чем давление на устье  $P_y$  нагнетательной скважины 25, причем эта разница тем выше, чем больше глубина спуска  $H$  дожимного насоса 3. Поэтому, чем больше величина  $H$ , тем выше предельное газосодержание, давление на приеме  $P_{пр}$  и меньше содержание свободного газа в смеси на приеме дожимного насоса 3, что расширяет область применения способа водогазового воздействия на пласт в сторону более высоких расходов газа.

При этом после эжектора 2 водогазовую смесь направляют по линии 8 в колонну НКТ 24 и далее по кольцевому пространству между кожухом 28 и погружным электродвигателем 27 - на прием 29 погружного дожимного насоса 3. Электроэнергию к погружному электродвигателю 27, вращающему вал дожимного насоса 3, передают по кабелю 30 с поверхности от станции управления с частотно-регулируемым приводом 15. Дожимным насосом 3 нагнетают водогазовую смесь по хвостовику 31 в пласт 26.

Таким образом, предложенное техническое решение позволяет повысить надежность работы и производительности установки по газу путем обеспечения дополнительного эжектирования газа, что расширяет область применения при реализации водогазового воздействия на пласт.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Установка для водогазового воздействия на пласт, содержащая первый силовой насос, первый эжектор, дожимной насос, выполненный в наземном либо в погружном скважинном исполнении, а также линию подачи воды в первый силовой насос, линию нагнетания воды, линию откачки газа и линию закачки водогазовой смеси в пласт, причем приемная камера первого эжектора сообщена с линией откачки газа, линия нагнетания воды направлена в сопло первого эжектора, выходная линия эжектора соединена с приемом дожимного насоса, а на линии нагнетания воды установлена регулируемая задвижка, при этом в системе также размещен дозирующий насос с линией подачи пенообразующих ПАВ из емкости и регулируемой задвижкой на выходе, причем первый силовой насос, дожимной насос и дозирующий насос снабжены частотно-регулируемыми приводами, выходная линия первого эжектора сообщена с линией подачи воды в первый силовой насос посредством перепускной линии с регулируемой задвижкой, при этом на линии откачки газа перед приемной камерой первого эжектора также установлена регулируемая задвижка, а на линии откачки газа установлены регулируемая задвижка, компрессор и гидроприводная насосно-эжекторная система, содержащая сепаратор, второй силовой насос и второй эжектор, при этом входная линия второго силового насоса подключена к сепаратору, выходная линия второго силового насоса подсоединена к соплу второго эжектора, приемная камера второго эжектора сообщена с линией подачи газа, выходная линия второго эжектора соединена с сепаратором, а выходная линия сепаратора сообщена с приемной камерой первого эжектора, отличающаяся тем, что к линии нагнетания воды подсоединена линия подачи воды в сопло третьего эжектора, причем приемная камера третьего эжектора сообщена с линией откачки газа, выходная линия третьего эжектора направлена в сепаратор, при этом к входной линии второго силового насоса подключена линия перепуска воды с регулируемой задвижкой, причем линия перепуска воды сообщена с линией подачи воды в первый силовой насос и с входной линией третьего силового насоса, выходная линия которого соединена с линией нагнетания воды в сопло первого эжектора, при этом на входной и выходных линиях третьего силового насоса установлены регулируемые задвижки.

2. Способ водогазового воздействия на пласт с использованием установки по п.1, включающий проведение перед закачкой водогазовой смеси фильтрационных исследований вытеснения нефти из моделей пласта водогазовыми смесями при различных газосодержаниях, определение области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях, в которой обеспечиваются максимальные значения коэффициента вытеснения нефти, и последующую закачку смеси в пласт насосно-эжекторной системой при обеспечении газосодержания смеси  $\beta_{пл}$  в пластовых условиях, исходя из соотношения

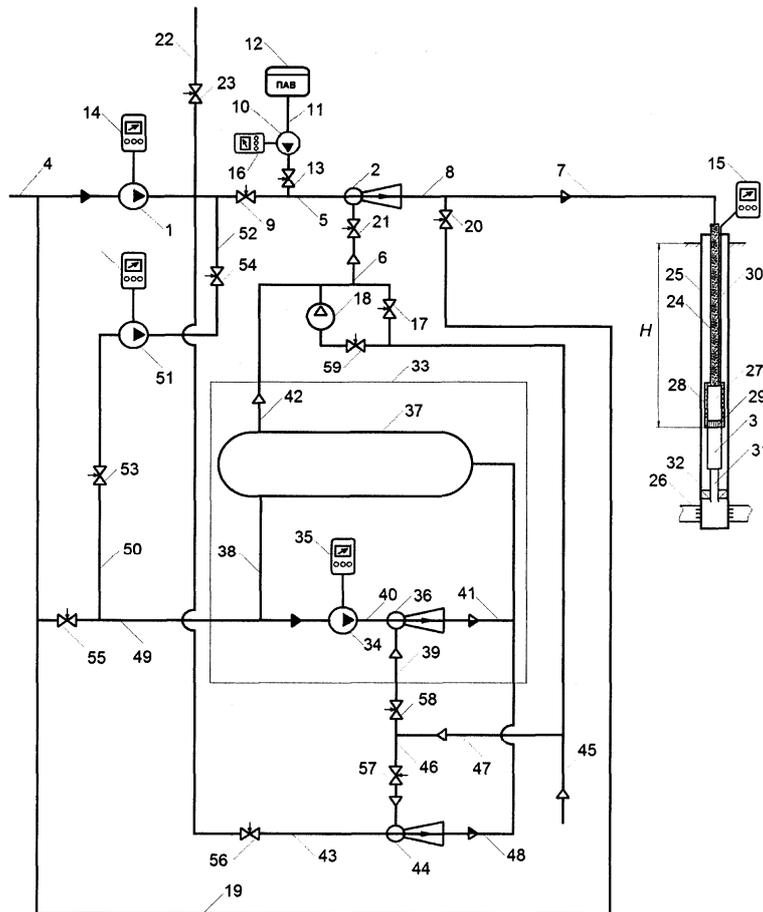
$$\beta_{мин} \leq \beta_{пл} \leq \beta_{макс},$$

где  $\beta_{мин}$  - минимальное газосодержание, соответствующее левой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

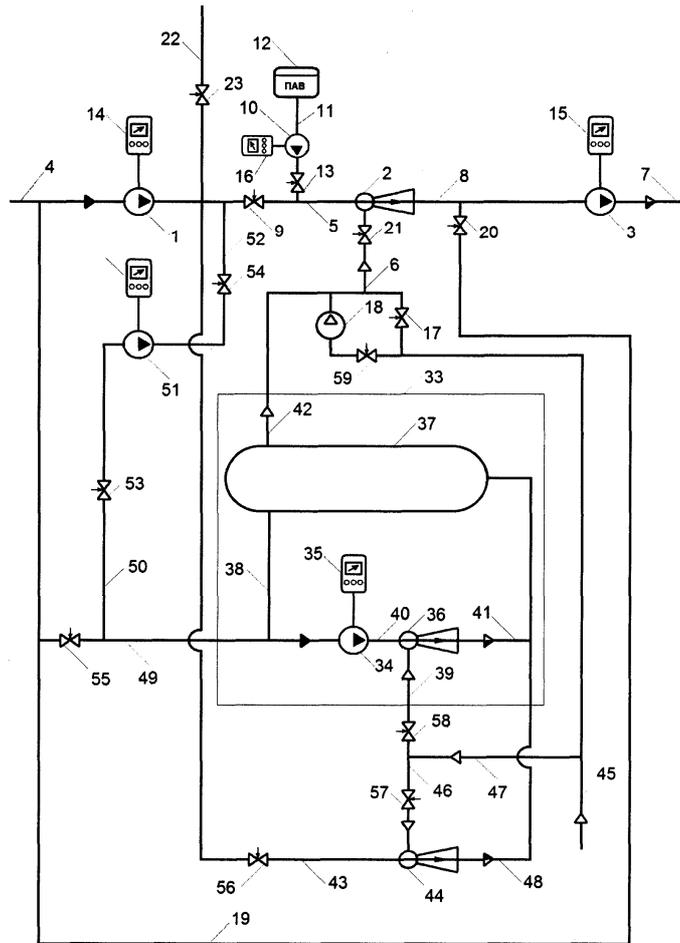
$\beta_{макс}$  - максимальное газосодержание, соответствующее правой границе области рациональных газосодержаний смеси в пластовых условиях,

при этом процесс закачки смеси включает нагнетание воды первым силовым насосом в сопло первого эжектора, откачку газа первым эжектором, создание, диспергирование и повышение давления водогазовой смеси первым эжектором с последующим нагнетанием дожимным насосом водогазовой смеси в пласт, поддержание при этом содержания свободного газа в смеси на приеме дожимного насоса не выше величины предельного газосодержания, регулирование содержания свободного газа в смеси на приеме дожимного насоса изменением подачи газа первым эжектором, регулирование предельного газосодержания

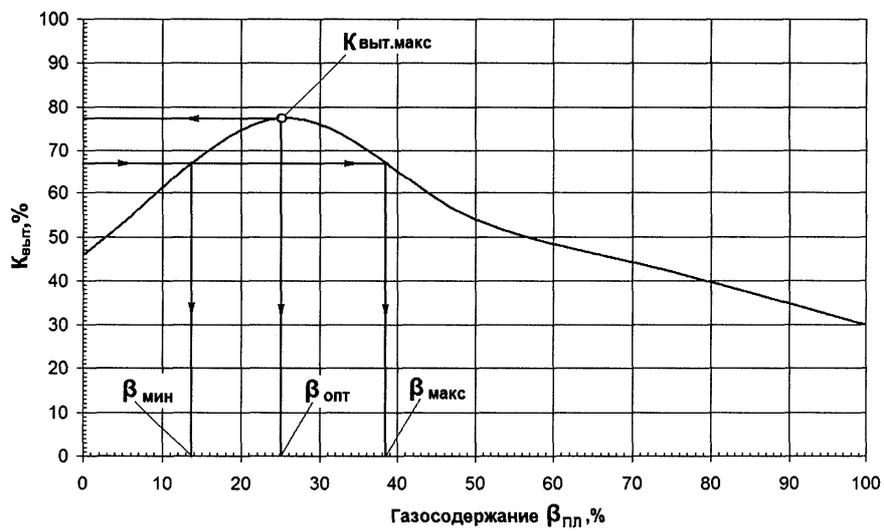
ния путём изменения давления на приёме дожимного насоса за счет изменения давления воды, нагнетаемой в первый эжектор, и путем изменения пенообразующих свойств водогазовой смеси, а также регулирование расходов газа, воды, давления и содержания свободного газа в смеси на приёме дожимного насоса посредством изменения размеров проточной части первого эжектора и изменением частоты вращения вала первого силового и дожимного насоса и изменением давления газа в приемной камере первого эжектора и линии откачки газа регулируемой задвижкой и компрессором и гидроприводной насосно-эжекторной системой со вторым силовым насосом, вторым эжектором и сепаратором, и путем использования гравитационного поля Земли для сжатия водогазовой смеси от выходной линии первого эжектора до приема дожимного насоса за счет спуска дожимного насоса, изготовленного в погружном исполнении, в нагнетательную скважину вплоть до её забоя, причем при запуске насосно-эжекторной системы в работу сначала перекрывают регулируемой задвижкой линию откачки газа, сообщают выходную линию первого эжектора с приемной линией первого силового насоса, затем подключают сопло первого эжектора к первому силовому насосу и включают дожимной насос, после чего разобщают выходную линию первого эжектора с приемной линией первого силового насоса и постепенно открывают регулирующую задвижку на линии откачки газа, отличающийся тем, что часть воды, нагнетаемой первым силовым насосом, направляют для охлаждения воды в гидроприводной насосно-эжекторной системе с одновременной дополнительной откачкой газа третьим эжектором, направлением водогазовой смеси после третьего эжектора в сепаратор и последующей подачей части воды из сепаратора гидроприводной насосно-эжекторной системы на прием первого силового насоса или нагнетанием этой части воды в сопло первого эжектора.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

